



能源手册

陈明璋 徐 进 等编译



北京科学技术出版社

能 源 手 册

北京科学技术出版社出版发行

(北京西直门外南路19号)

北京怀柔燕文印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 20印张 490千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数1—3000册

统一书号15274·075 定价 4.40 元

ISBN7-5304-0088-6/T·12

编 译 说 明

本书是根据联合国工业发展组织于1985年10月在澳大利亚墨尔本举办的亚太地区能源管理和节能讲习班提供的第二批技术资料编译而成的。第一批资料编入“节能手册”，已由北京科学技术出版社于1986年10月出版。

本手册中的技术资料是由澳大利亚维多利亚燃气与燃料公司能源管理中心组织有关方面的专家编写的；手册分为能源手册、能源测试仪器及附录三个部分。

其中能源手册部分包括十篇文章，分为小型柴油发电机、电力变压器、空气调节、从空气调节及制冷设备中回收废热、建筑物的能源使用、天然气做为车辆用的新型燃料、能源计量技术及汽水分离器等几个专题，系统地介绍了节约能源的经验和措施。

能源测试仪器部分介绍了国外常用的能源测试、记录和控制仪器的特性、选用的方法和参考价格。

附录部分列出了维多利亚燃气与燃料公司能源管理中心推荐的一套能源审计图表，可供从事能源管理和审计工作的部门和人员参考。

本手册有以下几个特点：

- 内容比较新颖，从几个方面反映了国外节约能源，合理使用能源，能源计量控制及能源管理工作方面的经验和新的成就。

- 通过大量的实例，说明了节约能源和合理使用能源的方法和措施；介绍能源管理和审计工作的经验及经济评价方法等；文章深入浅出，结合实际，具有中等专业以上技术水平的工程技术人员即可阅读和使用本手册。

- 本手册系统地介绍了国外能源测试用的仪器设备，可以有助于从事能源计量控制工作的同 选用和引进设备，也可供能源计量控制设备制造部门的同志参考和借鉴。

· 本手册内容广泛、丰富、实用，可以帮助从事能源管理工作的同志通过比较简单的测试工作，系统地调查分析和审计能源使用情况，存在的问题，用较少的人力、物力和财力，通过比较简单易行的办法，摸清问题，节约能源，取得显著的经济效益。

· 为忠于原著，保留英制单位，在书后附有英制和法定计量单位换算表。

本书可作为培训能源管理人员的培训班、大专院校有关专业的参考教材；可供厂矿企业、科研单位、商业、服务行业、建筑部门、房管部门从事有关能源工作的工程技术人员技术革新工作者、技术工人以及从事能源管理和节能工作的领导同志参考。

本手册的译稿和校译：能源手册部份由徐进译，陈明璋校；能源测试仪表部份由王杰唐译，罗福元校；能源管理审计图表由王杰唐译，陈明璋校。本书由唐谦、郑佑璋同志审稿，艾秋栓同志任编辑。由陈明璋、徐进同志负责总编审。

北京城市系统工程研究中心
中国能源研究会城市能源专业委员会

1987年5月

目 录

能源手册部份

1.0 小型柴油发电机	(1)
2.0 电力变压器	(7)
3.0 建筑物的能源使用模式	(15)
4.0 空气调节	(21)
5.0 从空气调节和制冷系统中回收废热	(44)
6.0 废热回收14例	(49)
7.0 建筑物的能源使用概况	(62)
8.0 压缩天然气(C.N.G)——新型的燃料	(67)
9.0 能源计量技术	(86)
10.0 汽水分离器	(96)

能源测试仪器部份

第一册 一组能源测试仪器	(126)
第二册 3130系列夹持式功率测试器	(139)
第三册 DRANETZ-808型功率/需求分析计	(149)
第四册 2000系列MAGNEHELIC空气过滤计压力表	(159)
第五册 气流的测量(第1.2部分)	(170)
第六册 燃烧质量和过剩空气量	(197)
第七册 测能技术	(205)
第八册 结构简单价格便宜的数据记录仪	(215)
第九册 一组能源测试仪器的供应厂家	(218)
第十册 8200系列记录器——8201·8202·8203微型记录器	(233)
第十一册 CFB4型计时器	(243)
第十二册 用Drager公司提供的多用途煤气测试仪控制下的煤气	(252)
第十三册 Bestobell公司蒸汽测试产品	(265)
第十四册 Rosemount公司Alphaline牌1151DP型流体 $\sqrt{\Delta P}$ 传送器	(277)
附录1.能源管理审计图表	(296)
附录2.国际公制单位 (SI)	(314)
附录3.单位换算表	(315)

1.0 小型柴油发电机

提 要

虽然由于对石油产品的依赖,使柴油机发电失去了一些通用性,但是在要求发电量为5千伏安至5000千伏安的范围内,仍继续采用柴油发电设备。

为一个特定的项目,选用最适合的发电设备,取决于几个因素。其中生产电力的费用是最主要的。通过选择设备,降低燃料消耗并减少操作人员的数量,能够降低生产电力的费用。

1 前 言

半个世纪以来,柴油发电机在供给工业、电信和公共住宅所需的电力方面,特别是当平均载荷小于5000千瓦的情况下,取得了显著的进展。

由于石油产品价格的迅速上升,曾对柴油发电设备应用进行分析并探讨代用方案,然而对不同的可利用的能源和其相应的电力费用进行对比以后指出,在80年代甚至可能到90年代,柴油机将仍然是承担给电力发展需要的主要的发电设备。表1指出目前供应小规模用电的可利用的能源生产电力每千瓦时的近似费用。

表1 用不同能源生产电力的费用

能源	澳元/千瓦时
光电池	1.54
太阳能发电机	1.30
风力发电机	0.90
水力发电机	0.70
太阳能电池板	0.40
柴油机发电机(小型)	0.35
柴油机发电机(大型)	0.15

2 柴油机发电的类型

为一个既定的用途,为了选择一个最经济的柴油发电机,必须考虑几个因素,其中最难预料且影响电力费用最大的因素是柴油的价格。以下的因素是重要的。

2.1 运转速度

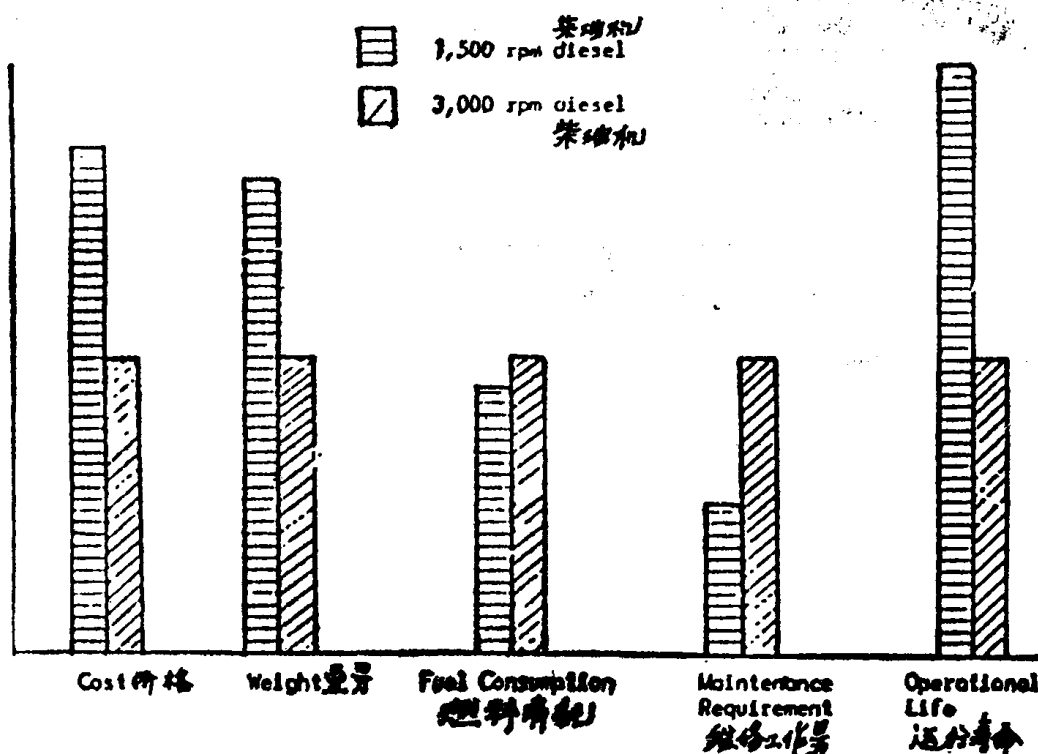
任何一种柴油发电机的运转速度取决于电力要求的频率和发电机的函数。对于一个50赫兹的交流发电系统,可以选用2、4、6、8极的交流发电机,需要的柴油机转数,相应地是3000、1500*、1000、250转/分。25年来柴油机技术取得的进展,目前的趋势是发展较高速的柴油机,当功率为500千伏安以下时,很少采用6极和8极的柴油机,而当功率为100千伏安以下时,往往采用2极的发电机,柴油机转数为300转/分。

然而大部分柴油发电设备采用1500*转/分的柴油机和4极发电机。更高转数柴油机的优点是设备重量轻、尺寸小而且一次投资少。但有时这些优点可能被柴油机寿命低、燃油消

译者注:* 应为1500.

耗高和柴油机维修周期短等问题所抵销。例如一套在15000[°]转/分下运转的设备，需要每隔10000到15000小时大修一次。而一台3000转/分的柴油机，典型的大修周期为5000到7000小时。在较高转速运行时，发电机的性能和可靠性并没有降低。2极和4极柴油发电机的投资费用，尺寸，体积、燃料消耗和维修周期的对比见表2。

COMPARISON BETWEEN 1,500 rpm & 3,000 rpm DIESEL POWERED GENERATING SET
1500rpm和3000rpm柴油发电设备的比较



集流环型与无电刷型比较

3 集流环型和无电刷型发电机

3.1 集流环型交流发电机

电力工业经常采用两种类型的交流发电机，就是集流环型和无电刷型。两种设备中比较简单的是集流环型交流发电机，由一个转子、定子和一套集流环和电刷组成，集流环和电刷将电流输给转子或从转子把电力输出来。

在新型的集流环型交流发电机中，转子成为发电机的磁场部分，而定子成为发电机的电枢。这种类型的交流发电机被称为旋转磁场交流发电机。

在历史上，集流环型交流发电机曾经设计成转子为电枢，这种结构的交流发电机发出的全部电力必须通过集流环和电刷，这就增加了电力损耗，并且增加了维修工作。旋转磁场交流发电机则只是磁场需要的电力通过其集流环，其数量仅为总输出电力的5%左右。

集流环型交流发电机当功率 ≥ 35 千伏安时是最可行的。功率大于35千伏安时，由于发电机的容量增大，电压调节线路必须控制增大了的电力，会使得电压调节器线路复杂化，就可能抵销发电机结构简单所节省的费用。

3.2 无电刷型交流发电机

这种类型的交流发电机可以看做是装在一根轴上的两台交流发电机。其中较小的一台是励磁机，其发电容量约为交流发电机输出功率的1/20，其运行情况相当于一台旋转电枢型发电机，生产的三相电流通过一套安装在交流发电机旋转主轴上的一套二极管进行整流。从二极管出来的直流电供给主发电机转子的磁场，主磁场转动使得定子线圈输出电力。

无电刷型交流发电机有几个优点，通常这种发电机用于最主要的电力设备，而这些设备一般都在100千伏安以上。

无电刷型交流发电机的优点是：

没有集流环和电刷。

这就减少了交流发电机的维修工作量，由于没有电刷，就不需要更换和调整电刷，没有集流环就不需要对已经出麻坑的集流环进行重新加工。

由于没有电刷，在运行中基本上没有活动的接触点，所以在严重污染的环境中运行更为可靠，灰尘和油污、甚至于水分不会影响一台无电刷型交流发电机的正常运行。而灰尘或油污往往会在集流环上形成一层薄的绝缘膜，将会妨碍集流环型交流发电机的运行。

· 两级 (two stages)

由于采用两级发电，降低了电压调节器所要调节的功率，使整个设备的可靠性提高了。另外，附加级的隔离作用，防止了由于载荷产生的任何瞬时脉冲，不致于损害调节器。由于能够比集流环型设备供给转子更多的励磁，使无电刷型交流发电机有较好的过载性能。

4 相数

交流发电机通常提供单相或三相电力。

单相设备能够用于 ≤ 50 千伏安的设备，这种设备一有个优点，就是不像三相设备那样需要在几个相之间均匀分配载荷。然而单相交流发电机往往比三相发电机效率要低5~10%，而且价格贵10%，所以应该尽可能采用三相设备。

几乎所有容量 ≥ 7.5 千伏安的设备都采用三相交流发电机。低于这一容量，向三相线路均匀分配载荷往往是困难的，所以采

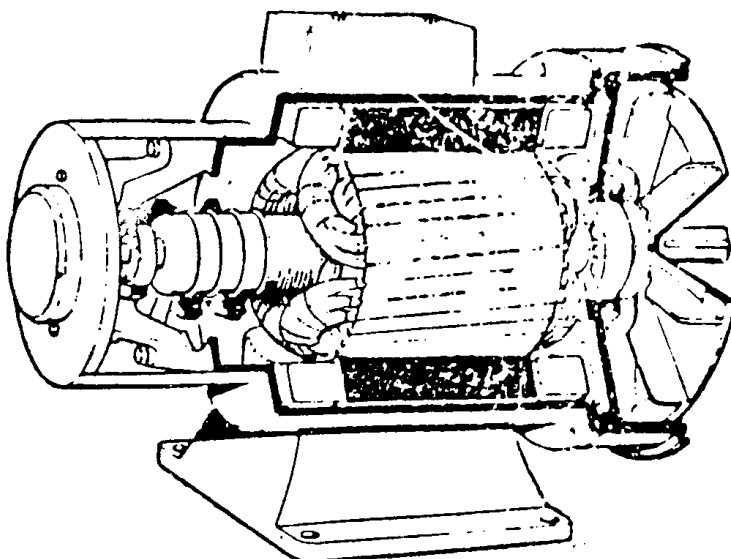


图 1

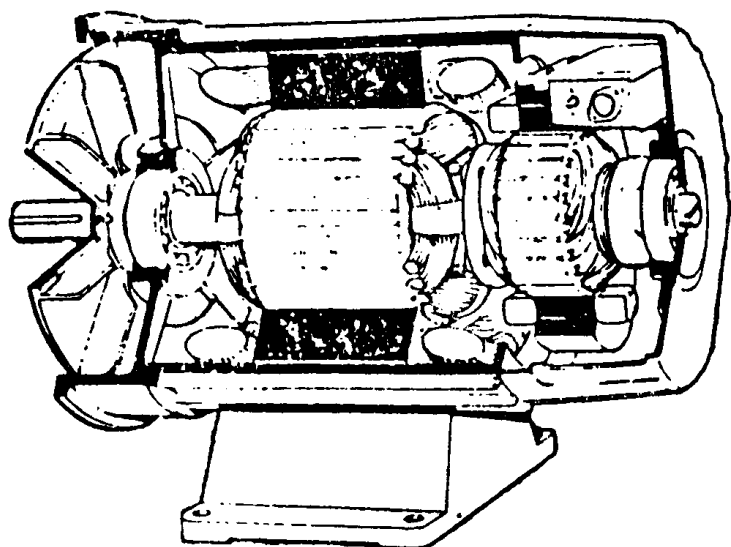


图 2

用单相交流发电机。

5 电压调节器

在固定的励磁条件下，一台交流发电机本身的调节不能精确到能够使交流发电机直接与载荷联接的程度。往往需要一套电压调节器。20年以来常用的有两种类型的电压调节器。老的类型是采用一套饱和电抗器，利用交流发电机输出的电压，通过使一个互感器的部分饱和将磁场和发电机的输出端联结起来，控制送给发电机磁场的电力的数量。

饱和电抗器型电压调节器有几个缺点。采用饱和电抗器型调节器，发电机电电压调节约为 $\pm 15\%$ ，这对于许多装备是不能满足要求的。这种调节器对载荷的突然改变反应缓慢，而且不能迅速地进行调节。为了保证可靠的励磁，饱和电抗器往往需要一个外部的励磁线路。

目前更常用的是电子式电压调节器，采用集成电路，通过将输出电压与一个外部基准电压进行比较，对送回交流发电机磁场线圈的电力数量进行适当的调整。大部分电子式电压调节器采用相位控制可控硅整流器，通过控制可控硅整流器的闸门导通角度来改变电力。采用电子式电压调节器能够很容易地使交流发电机的输出电压保持在 $\pm 1.5\%$ 以内。

6 控制和计量

对任何柴油机发电设备，都可以有以下几种类型的可行的控制线路。其基本要求是，当柴油机的温度超过正常的安全运行温度，或者柴油机的油压降至最低的安全压力以下时，立即停机。如果不能立即停机，就可能在几秒钟以内，使柴油机受到永久性的损坏。

除了柴油机的保护线路以外，应该测定交流发电机的输出，以保证其在正常电压、正常频率和在额定载荷以内运行。一般至少对每一相都配备电压表、频率表和电流表。还可以安装一套柴油机运转计时器，以保证柴油机在正常的运行周期后，进行预防性的维修。

控制和计量仪表可以从上述的基本设备到很高级的设备。这种高级设备能够监控很多柴油机参数，发出潜在故障的警报，并且能够根据需要切断不必要的载荷。这种设备采用微处理器做为逻辑和控制装置，可以做到使发电设备自动运行。这种控制方法的一个很好的实例是Duplife自动并联系统。当需要的载荷变化时，能够开动或关闭多达7台发电设备，将其自动并联到载荷母线上。这套控制系统自动检测柴油发电机运行中的16个参数，发电机的运行情况 and 需要的载荷，并且用合理的方式处理常规的事件。这种控制设备能够容易地关掉一套失效的发电设备，开动另一套设备供给载荷，并且发出指示设备损坏的警报。

尽管控制功能很齐全，微处理器技术使控制设备的制造和调整费用不高。由于工时的节省，由于只根据需要开动设备节省了燃料消耗，由于节省了机器损坏的维修费用，或者由于以上三个因素的结合，控制系统所需的费用由于降低运行费用，能够很快的收回。

7 运行费用的降低

当考虑柴油机发电设备的方案时，往往只考虑设备购置费一个因素。还有一些其他的考虑方案，有时最初投资较高，但是可能在10~15年的运行过程中，产生真正的节约。而且在很多情况下，最初几年中即能收回增加的投资费用。特别当发电的地区需要用高额运费进口燃料时，更容易出现这种情况。

8 选择一种具有高燃料效率的柴油机

如果发电设备的运行周期很长，柴油机的效率就是很重要的。一般柴油机的燃料消耗变化不很大。一个制造厂生产的柴油机可能比另一家制造厂的柴油机燃料消耗相差10~15%。在做出决定时，应该考虑每一种柴油机的燃料消耗。在比较燃料消耗时，应该考虑柴油机的

运行载荷，如果柴油机不在额定电力下运行，就不要在满载荷条件下进行比较。

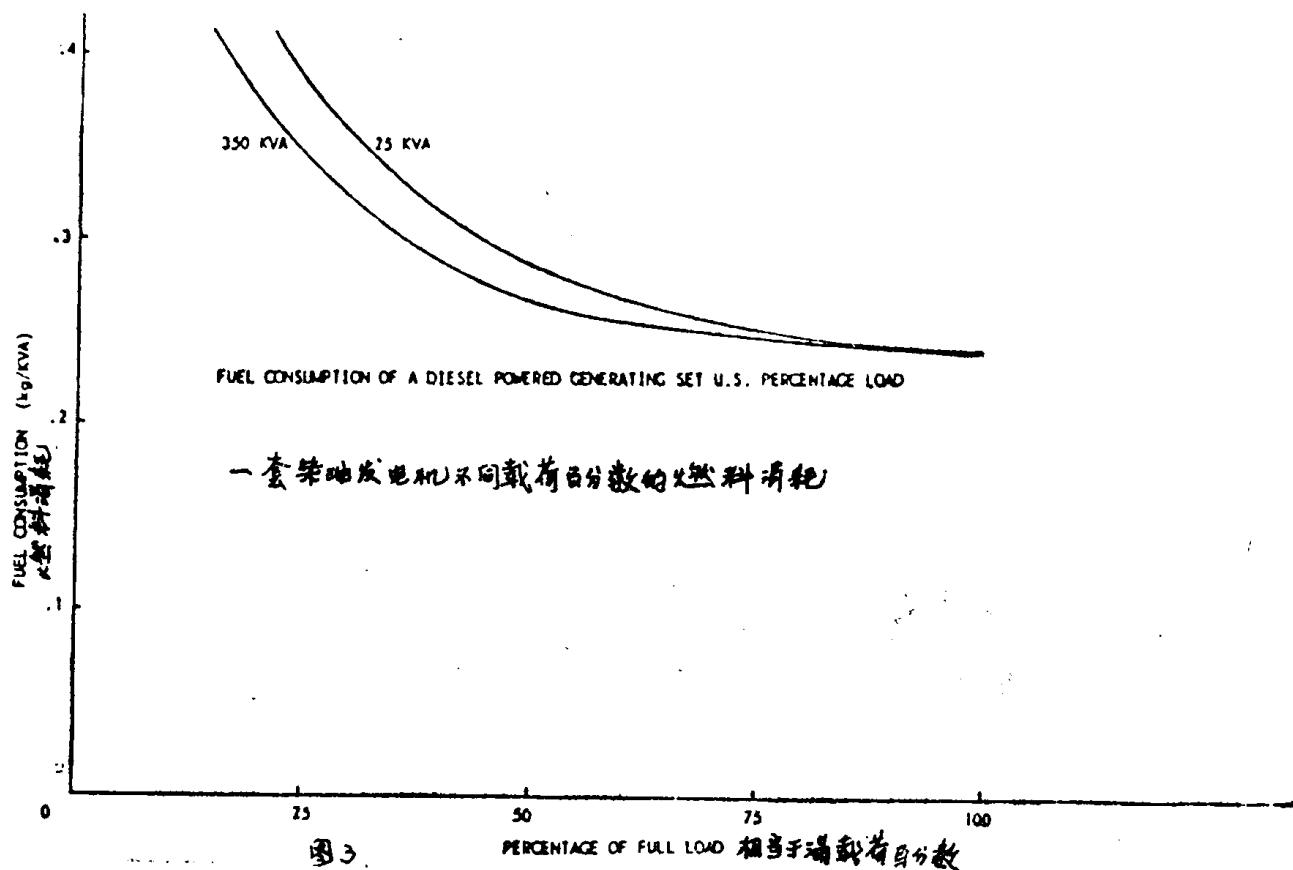
1500转/分下运行的柴油机的效率，往往比采用3000转/分运行的柴油机燃料消耗要节省7~10%，所以对主要的电力生产者是有吸引力的。

有几种柴油机新技术，目前正在开发的是提高燃料效率。包括混合 Rankin 循环热转化设备，排气透平和燃料喷射系统的改进。目前，这些技术大部分还处于试验室机组阶段，还没有在工业上正式应用。

9 发电设备的容量

选择一套发电设备时，往往倾向于选一套比现有的载荷容量大一些设备，考虑发展需要必须是现实的，将来的发展是实际可行的。柴油发电机的额定功率应该尽可能地接近载荷。

柴油机的燃料消耗并不是与载荷成直接比例关系的。当柴油机接近满载荷运行时，其效率提高，交流发电机也是如此。代表性的柴油机和集流环式交流发电机的综合效率见图3



可见当柴油发电机设备在50%额定容量以下运行时，每千瓦时的费用显著上升。

10 多台发电设备

鉴于上述，当载荷下降时，效率降低。有些情况，在一天之内或季度之间载荷变化很大，则显然设置两台或多台发电设备和一套自动控制系统，燃料效率要提高一些。

例如，某一个城镇其载荷曲线如图4，适应峰值载荷，需要一台350千伏安的发电设备。这套设备每天消耗燃料约1700公斤。另一个解决方案，是按装1台100千伏安的发电机和一台250千伏安的发电机，配一套自动并联设备。在后一情况下，100千伏安的发电机每天将运行约15.5小时，而250千伏安的发电机每天运行约18小时，总计燃料消耗为1300公斤，约为采用一套发电设备的76%。在这种情况下，每天节约的料燃费约为150澳元，在运行最初6个月

之后，即可收回增加的设备费用。

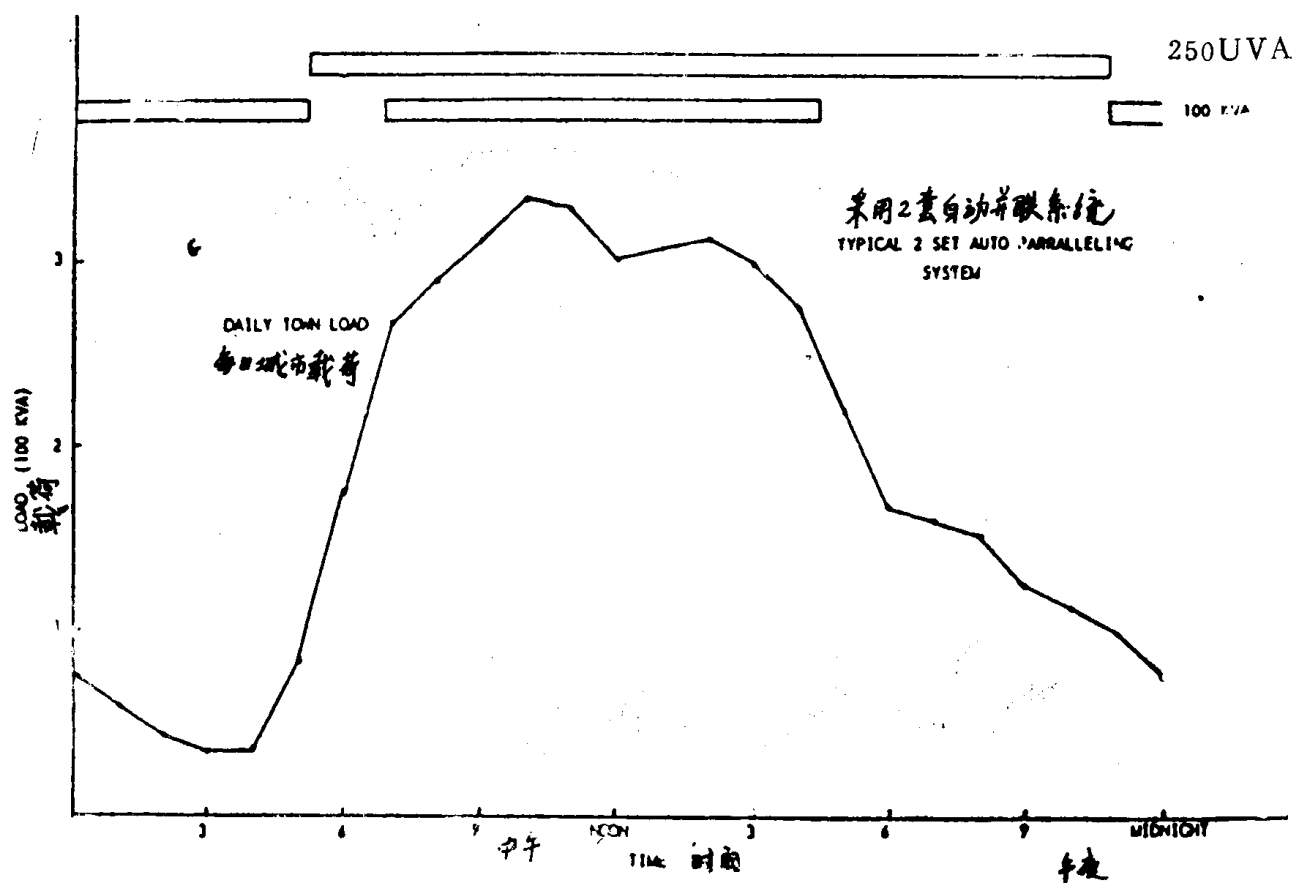


图 4

2.0 电力变压器

P. G. Stewart

威尔逊变压器公司

- B8.0 目录
- B8.1 前言
- B8.2 电力变压器的结构
- B8.3 变压器的特性
- B8.4 阻抗和损耗
- B8.5 冷却和变压器的载荷
- B8.6 变压器的绝缘
- B8.7 抽头和联接
- B8.8 承受短路电流的能力
- B8.9 噪音水平
- B8.10 变压器使用的经济性

B8.1 前 言

电力变压器是交流电力系统的一个重要部分。

本文只能涉及其中的一些主要方面，在每一节后给出的参考文献可以提供进一步的说明。

假设读者已经具有有关变压器基本原理的知识。下面推存的参考文献是有关电力变压器的一般介绍

一般参考文献

- 1.1 L. F. BLUME, A. BOYAJIAN, G. CAMILLI, T. C. LENNOX, S. MINNECI, V. M. MONTSIGNER: "Transformer Engineering" Second Edition ; J. Wiley & Sons, 1951.
- 1.2 R. FEJNBERG (ed) : "Modern Power Transformer Practice" Macmilan, 1979,
- 1.3 D. LEWIS: "Transformers—Current Developments" Electrical Energy Conference, Melbourne, 1981.
- 1.4 R. BEAUMONT: "Factors Affecting the Design of power Transformers" Electrical Energy Conference, Sydney, 1982.
- 1.5 A. C. FRANKLIN & D. P. FRANKLIN: "The J & P Transformer Book" 11th Edition; Butterworths, 1983
(Earlier editions were by S. A. Stigant & H. M. Lacey)
- 1.6 G. W. ILIFF (organiser) : "Power Transformer Considerations of Current Interest to the Utility Engineer" IEEE Tutorial Course Text 84 EHO 209—7—PWR, 1984.

B8.4 阻抗和损耗

B8.4.1 空载电流和损耗

“空载电流”是指当电压加到一个绕组的终端时，另一个绕组呈断路时，所产生的电流。空载电流的波形含有高次谐波，根据铁心用钢的非线性的特性，当电压升高时，谐波量增加。虽然谐波分量在空载电流中占有较高的百分比，但是在变压器额定电流中，一般只占很小的百分比，所以谐波一般可以被忽略。

空载电流有两个组成部分，一个是有功部分，形成空载损耗，主要是在铁心钢中形成磁滞和涡流。另一个是无功部分，在铁心中励磁产生磁力线。

空载电流和空载损耗与磁通密度、频率、铁心数量、铁心用钢的牌号和厚度以及铁心的设计及制造工艺有关。由于频率相依，可能由于施加电压产生的谐波产生测量误差。AS2374介绍一个检查和校正误差的方法，这一误差是基于假设磁滞损耗等于涡流损耗，这一假设对于不同牌号和厚度的铁心用钢是不准确的。而且涡流损耗是与铁心的电阻率成反比，而电阻将随温度上升而增加，AS2374没有对这一点进行校正，所以在室温测定的空载损耗比实际运行温度的损耗要稍微大一些。

B8.4.2 漏磁的作用

一个变压器中的绕组，在磁力上是紧密耦合的、从而大部分磁力线将在铁芯中流动。当变压器带有载荷，绕组的安匝数将造成在绕组内部和周围空间流动的漏磁，在这种情况下，在每个绕组中的漏磁不一定是相等的，漏磁有几个作用。

(a) 绕组电流与漏磁的相互作用，特别是在短路情况下，能够产生很大的机械力。这一问题将在以后的B8.8部分讨论。

(b) 在绕组导线中，漏磁造成涡流，而且在周围金属中，特别是在钢的工件如铁壳、铁芯夹紧装置中，造成杂散(stnoy)损耗，这种损耗当温度升高时将增大。可以通过减小绕线的尺寸、改变铁芯的位置减少绕组中的涡流损耗，通过屏蔽减少杂散损耗。

(c) 产生漏磁需要消耗无功电力，所以形成一个与载荷电流相位相差 90° 并与之成正比的无功电压。

8.4.3 载荷损耗

载荷损耗主要是由绕组中和接点上的 I^2R 损耗组成(约占75%)，其余的部分是由漏磁造成的(见上述8.4.2(b))。

虽然载荷损耗有非常重要的意义(见B8.10)但是是难以精确测定的。

绕组的电阻随温度上升而增加。 I^2R 损耗与电阻成正比，而涡流损耗与电阻成反比。所以在鉴定损耗时，应该把测定的损耗按 75°C 进行校正。但是问题在于难于精确测定绕组的温度。

在试验变压器之前，干燥和装油以后，应冷却至室温，虽然在变压器油箱的几个点测定油温，但是难以保证绕组也处于同一温度，特别是当大气温度变化时。另一个问题是，杂散损耗随工件的电阻而变化，而当温度变化时，电阻率变化的系数是不同的。所以不可能分开杂散损耗，分别测定绕组中的涡流损耗，于是就产生了误差。

B8.4.4 损耗测定中的误差

新型的电力变压器载荷损耗小,在测量线路中的功率因数($\cos\theta=R/Z$)在20MV A的变压器中一般低于5%,在200MVA变压器中低于3%,容量再大的设备还更低一些。例如,如果采用一台10%全刻度偏转角的功率表进行测定,在额定的电压和电流下其偏转角约为全刻度的40%。如果仪器的精度为全刻度的0.5%,就很容易产生超过读数1%的误差。更进一步当 $\cos\theta=0.03$,相转换时间仅为0.9/1000秒,造成功率表产生1%的误差,如果载荷电流误差为0.5%,测定的载荷损耗误差将为1%。同样,如果供给的电压误差为0.5%,测定的空载损耗误差将为1.5%。在低功率因数条件下,用两台功率表测定损耗是不够精确的,因为在两个大的读数之间只有很小的差别,所以推荐采用三功率表法(参见4.1部分)。

B8.4.5 阻抗

变压器的每单位电阻抗“R”是用载荷损耗千瓦除以千伏安。单位电抗“X”是损耗在励磁产生的漏磁KVAr除以千伏安。从而单位阻抗“Z”就是,

$$Z^2 = X^2 + R^2$$

R可以从测定的载荷损耗导出。当一个终端是短路的情况下,测定在额定频率下产生额定电流“I”所需要施加的电压除以该施加电压终端的额定电压“U”可以得出Z。

当一个绕组具有额定电压U功率S时,用欧姆定律换算。对每一单位值乘以 U^2/S ,得到R, X和Z值。

注意:当测定一个有抽头的绕组的Z值时,应按照每个抽头相应的U,I值进行计算。

一台三相变压器的正负顺序阻抗一般是相等的,可以用平衡的三相电压来测定。

一个绕线的零顺序阻抗是由变压器的接点和铁心的设计决定的,将三相的终端搭接在一起,通过测定适当的单相线路进行测定。

有抽头的变压器,了解抽头范围内的阻抗和载荷损耗的变化情况是重要的。这取决于绕组抽头的接点和铁心周围绕组的布置情况。在这里不做详细讨论(见参考文献1.7和7.3)。但是应该注意,这些因素也影响变压器的价格。对一个一定容量的变压器,有些布置方案指定优于另一些方案,特别是在抗脉冲电压和抗短路性能方面,而具有特殊阻抗技术特性需要增加额外的费用。

对于多绕组变压器,几对绕组之间的阻抗大小也与组绕部分有关。例如一台无抽头三绕组变压器,由于第三级绕组最接近铁心,往往是最经济的, LV绕组围绕铁芯而HV绕组在外侧。这种情况之间有一个固定的比值, $Z_{TL}:Z_{LH}:Z_{TH}=0.8:1.0:1.8$ 。另外特性的阻抗将采用更复杂的绕组布置并增加更多的费用。

阻抗的主要作用是:

(a) 调节电压,特别是线路上启动大型电动机时。过高的阻抗就需要大的抽头范围,增加设备费用。

(b) 限制短网电流。注意短网电流的峰值不只取决于Z,也取决于X/R的比值。

(c) 并联运行的变压器之间的载荷分配。

(d) 影响变压器与电力系统耦合,较低的阻抗使联接更好并且更为稳定。

(e) 低阻抗变压器的载荷损耗一般较小,反之亦然。换句话说,如果载荷损耗是损耗

评价公式中的不利因素，最佳的变压器设计应具有较小的阻抗，以使载荷损耗减小。

(f) 运输的限制：低阻抗变压器的外型趋于细高型。在既定的高度范围内，将有一个一定的阻抗，得出最轻的（并且最廉价的）变压器。

当规定阻抗时，应该仔细研究以上六个因素。因素a和b要一起考虑，而b可能是矛盾的。上述建议只是规定那些是需要提供给变压器设计人员的，以有助于提出最经济的解决方案。

B8.4.6 保证和允差

对主要抽头应保持其阻抗和损耗。如果需要也要规定其他抽头的阻抗。

保证的阻抗和损耗主要见下述范围（参照4.2），根据材料和制造方法而不同。

空载损耗：+0%。

载荷损耗：+0%。

中间抽头的阻抗：+/-10%

其他抽头的阻抗：+/- (10+0.5D)%

式中D=其他抽头和中间抽头之间的抽头因素差别的%。

注意：前述的变压器技术条件ASC61允许损耗的正偏差，但是应保证损耗不得超过AS2374的规定。

B.8.4.7 参考文献

4.1 S. P. MEHTA: "Measurements of Transformer Losses" IEEE Tutorial Course Text (see reference 1.6)

4.2 AS 2374 Part 1 : 1982

B8.10 变压器使用的经济性

B8.10.1 前言

供电工程像考虑工程技术那样研究其经济性。经济性的研究，如对一个已知任务的变压器选择方案进行评价，决定对一个损坏的变压器进行修理或者更新，在载荷增长到什么程度时扩大变压器的容量。

这里叙述的问题是如何使变压器总的运行费用降至最低。运行费用一般包括：

(a) 投资支付的有关费用。

(b) 变压器损耗的费用（在变压器的全部使用寿命期间，可能比投资费用大许多倍）。

一般不包括操作和维修费，首先因为这一费用一般比上述两项费用要低得多，另外这一费用与设备选型关系不大。

B8.10.2 损耗的费用

变压器能量的损耗可以分为两部分：

(a) 空载损耗，主要是铁心损耗，在变压器励磁的全部时间里，空载损耗可以假定为固定不变的。

(b) 载荷损耗，主要是绕组和接点损耗，但是也包括铁心支架、油箱等部分的杂散损耗。这种损耗大致与载荷电流的平方成比例。

每年每千瓦空载损耗的费用是

$a = D + TE$ (澳元/千瓦/年)

式中 D = 需要的最高费用 (澳元/千瓦/年)

T = 变压器励磁的时间 (时/年)

E = 能耗费 (澳元/千瓦时)

注意:

“ D ”是发电容量每千瓦需要的系统投资费用。这一数字对发电站比对供电网终端为低。

“ T ”对连续励磁为8760时/年

“ E ”是生产能源的费用, 这一费用对发电站也比对供电关系低。

每年每千瓦载荷损耗的费用是:

$$b = p^2 (dD + f_1 ET) \text{ (澳元/千瓦/年)} \quad 8.10.2$$

式中:

b = 峰值载荷变压器额定容量

d = 变化因素

f_1 = 载荷损耗系数 = 平均损耗/峰值损耗

对于一个既定的变压器, 求 f_1 值的最精确方法是, 采用一台具有最大值指示器的积分电流平方仪, 测定一段时间的总损耗, 并测出峰值损耗, 假定载荷损耗与载荷电流的平方成正比。这种方法对于已有的设备一般是不实际的, 但对新设备是不可能的。所以一般是从载荷因数 f_2 估算 f_1 , 一般地说, 这一方法对各种形式的载荷相当准确。从理论上考虑 $f_2^2 < f_1 < f_2$ 。一个被相当广泛应用的公式是

$$f_1 = 0.3f_2 + 0.7f_2^2 \quad 8.10.3$$

上述公式中采用的常数(0.3、0.7), 在不同文献中是不同的。从kelvin公式(0.5、0.5)到R.N.Barry公式的(0.2、0.8)。8.10.3公式是一个较好的折衷数字, 大部分变压器每天的载荷曲线都不同。

总的每年损耗的费用是:

$$L = aW_N + bW_L \text{ (澳元/年)} \quad 8.10.4$$

式中 W_N = 保证的空载损耗, 千瓦

W_L = 保证的载荷损耗, 千瓦

注意

W_L 和 P 必须为同样的正常功率

对一台发电机变压器或一台供给固定载荷(如一台水泵电动机)的变压器, “ P ”是一个常数。对一个系统的变压器, 往往随时间而增加, 在这种情况下必须估算在整个经济偿还期的一个中间值 $P^2 dD$ 。

公式8.10.4适用于目前的能源价格。如果能源价格以年率“ h ”上涨, 则 m 年的费用是

$$(aW_N + bW_L)(1+h)^{m-1} \quad 8.10.5$$

将现值以利息“ i ”折算是

$$(aW_N + bW_L) / (1+h)^{m-1} \quad 8.10.6$$

式中: $g = [(1+i)/(1+h)] - 1$

既 g = 涨价后的净利率

这笔费用总的现值, 在整个 Y 年周期的总数是。

$$G(aW_N + bW_L) = AW_N + BW_L \text{ (澳元)} \quad 8.10.7$$

$$\text{式中 } G = (1 - (1 + g)^{-Y}) / (1 + g)^Y / g \text{ 如果 } g < > 0 \quad 8.10.8$$

$$\text{或 } G = Y \quad \text{如果 } g = 0 \quad 8.10.9$$

$$A = G, a = G(D + ET) \text{ (澳元/千瓦)} \quad 8.10.10$$

$$B = G, b = GP^2(dD + f_1ET) \text{ (澳元/千瓦)} \quad 8.10.11$$

B8.10.3 总的所有权费用

设 C = 购置变压器的费用

注意: C 包括购买和按装、加油费用。这一费用对所有的方案大概是相同的。

变压器的全部购置和运行费用的现值是

$$PY = AW_N + bW_L + C \text{ (澳元)} \quad 8.10.12$$

另一方案, 我们可以研究分摊到每年的变压器购置和运行费用。

如果, 变压器往往是用贷款购置的, 这就要支付利息和偿还本金, 每年要支出变压器的费用和利息, 每年的支出是 (参见 10.1):

$$ac_1 = C/F \quad 8.10.13$$

$$\text{式中 } F = (1 - (1 + i)^{-Y}) / i \quad \text{如果 } i < > 0 \quad 8.10.14$$

$$\text{或 } F = Y \quad \text{如果 } i = 0 \quad 8.10.15$$

i = 年利率

Y = 变压器的经济寿命, 年。

注意: Y 的时间是: 超过 Y 年需要再支付贷款, 或者是回收资金的年限。 Y 不是变压器的使用寿命, 变压器使用寿命可能是 50 年甚至更长时间。

: 每年需要加权偿还的利率

如果是复利, n = 时间, 年数,

$$\text{则 } F = (1 + j/n)^n - 1 \quad 8.10.16$$

如 $j = 0.1$, $n = 12$, 则 $F = 0.1047$

同样, 我们可以说, 每年损耗的费用的现值是

$$ac_2 = (AW_N + BW_L) / F \quad 8.10.17$$

总的每年费用是:

$$AC = (AW_N + BW_L + C) / F \quad 8.10.18$$

例 8.10.1

设 i = 利率 = 15% 每年 = 0.15

h = 能源价格上涨率 = 0.075

则 g = 净利率 = $1.15/1.075 - 1 = 0.06977$

设 Y = 分期偿还时间 = 25 年

则 $F = (1.15^{25} - 1) / (0.15 \times 15^{25}) = 6.46415$

$G = (1.06977^{25} - 1) / (0.06977 \times 1.06977^{25}) = 11.67804$

设 D = 最大需要费用 = 72 澳元/千瓦/年

T = 8760 时/年

E = 电费 = 0.033 澳元/千瓦时

则 $a = 72 + 8760 \times 0.033 = 361$ 澳元/千瓦. 年